



## **Brunifiering av boreala sjöar och vattendrag** – En kunskapsöversikt och analys av trender i vattenkemin hos tre norrländska skogsbäckar

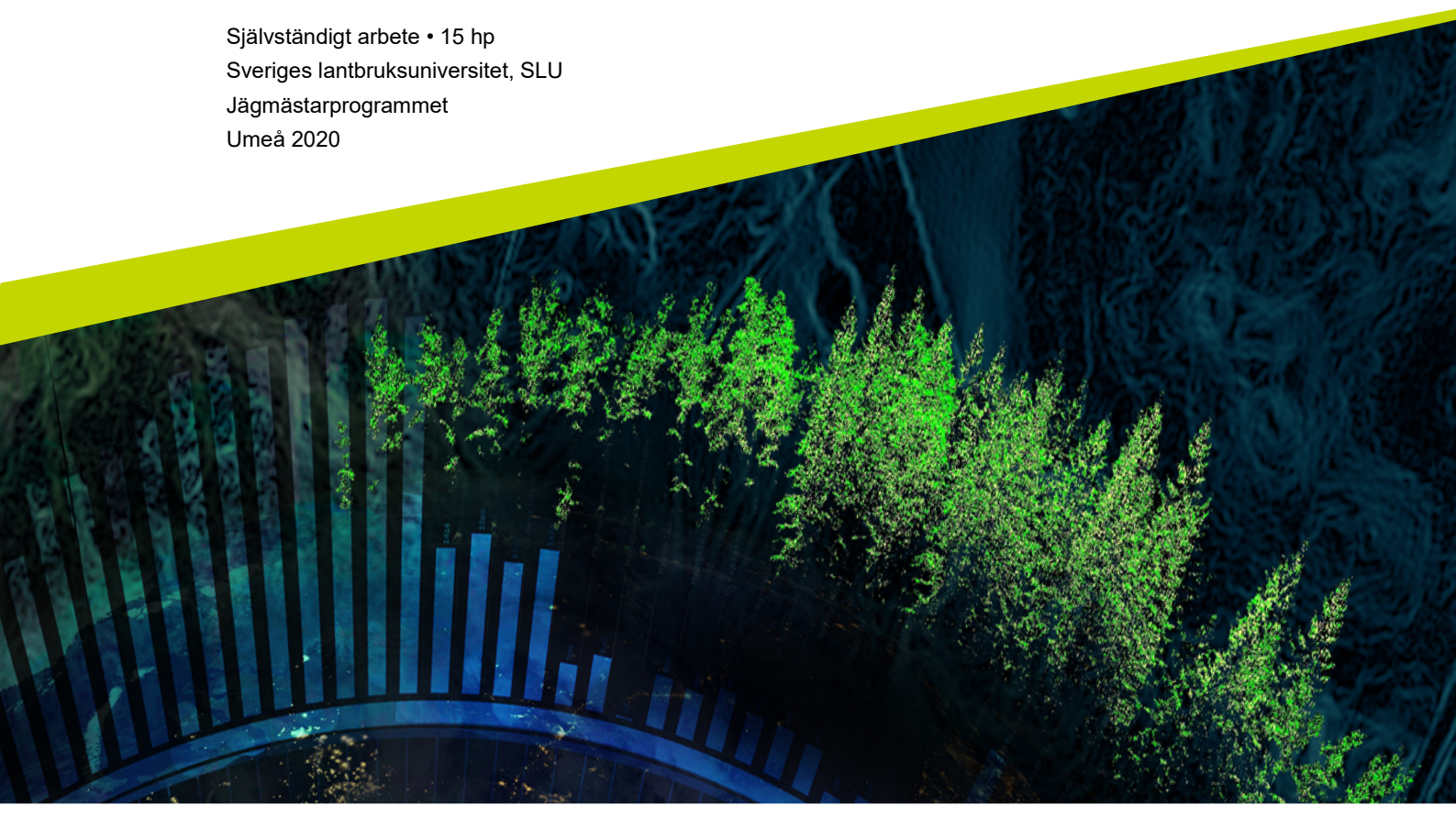
---

### **Brownification of boreal lakes and streams**

– A summary of the knowledge state and analysis of trends in water chemistry of three forest streams in northern Sweden

**Sebastian Carlzon & Andreas Uller**

Självständigt arbete • 15 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Jägmästarprogrammet  
Umeå 2020





# Brunifiering av boreala sjöar och vattendrag

– En kunskapsöversikt och analys av trender i vattenkemin hos tre norrländska bäckar

## Brownification of boreal lakes and streams

– A summary of the knowledge state and analysis of trends in water chemistry of three streams in northern Sweden

Sebastian Carlzon & Andreas Uller

**Handledare:** Fredrik Lidman, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens ekologi och skötsel  
**Examinator:** Tommy Mörling, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens ekologi och skötsel

**Omfattning:** 15 hp  
**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E  
**Kurstitel:** Självständigt kandidatarbete i skogsvetenskap  
**Kurskod:** EX0911  
**Program/utbildning:** Jägmästarprogrammet  
**Kursansvarig inst.:** Institutionen för skogens ekologi och skötsel

**Utgivningsort:** Umeå  
**Utgivningsår:** 2020

**Serietitel:** Kandidatarbeten i Skogsvetenskap  
**Delnummer i serien:** 2020:8

**Nyckelord:** Brunifiering, DOC, Krycklan, dricksvatten

Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för skogsvetenskap  
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

# Publicering och arkivering

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

# SAMMANFATTNING

Brunifiering av ytvatten är idag ett växande problem i många boreala vattensystem. Syftet med studien var att undersöka hur det rådande kunskapsläget ser ut kring brunifiering av ytvatten i boreala sjöar och vattendrag. Studien innefattade även att undersöka bäckar i krycklans avrinningsområde utanför Umeå. Halter för DOC, järn, aluminium och sulfat undersöktes och analyserades i R-Studio, Minitab 18 och Excel för att se om det skett förändring över tid.

Resultatet visar att halten DOC har ökat över tid för bäck 2 och 7, vilka är mer eller mindre belägna inom skogstäckta områden. Halten DOC är oförändrad för bäck 4 som är belägen på myrmark. Då skogen runt bäck 2 inte är brukad dras slutsatsen att andra faktorer än enbart markanvändning kan ge signifikant ökning av DOC. Ökningen av DOC kan enligt studien bero på att mängden sulfat minskat markant i bäckarna över tid. Trenden för järn har gått upp de senaste 20 åren i bäck 7 och kan ha påverkan på brunifieringen.

*Nyckelord:* Brunifiering, DOC, SOM, Krycklan, dricksvatten, ytvatten

# ABSTRACT

Brownification of freshwater is today an increasing problem in many boreal aquatic systems. The aim of this study is to investigate the knowledge state of brownification of freshwater in boreal lakes and streams. This study also contained an analysis of streams in the Krycklan catchment outside Umeå. Concentrations of DOC, iron, aluminum and sulphate were examined and analyzed in R, Minitab 18 and Excel to see if there were any changes over time.

The results showed an increase in DOC over time for stream 2 and 7, which are located in forest covered areas. Concentrations of DOC remained unchanged for stream 4 which is located on mires. As the forest around stream 2 has not been managed it is concluded that other factors than land use alone could significantly increase DOC. According to this study the increase in DOC could be a result of reduced amounts of sulphate in the streams over time. The trend of iron has gone upwards the last 20 years in stream 7 and might affect the brownification.

*Keywords:* Brownification, DOC, SOM, Krycklan, drinking water, fresh water

# FÖRORD

Detta examensarbete är ett kandidatarbete inom marklära och omfattar 15 högskolepoäng. Detta examensarbete har gjorts vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå och är en del av jägmästarprogrammet.

Båda studenterna har ett stort intresse för både marklära och skogsskötsel. Då ämnet brunifiering är direkt kopplat till marklära, och samtidigt påverkas av skogsskötsel, har det känts naturligt för studenterna att fördjupa sig inom ämnet.

## Innehåll

Sammanfattning.....	5
Abstract.....	6
Förord .....	7
Figurförteckning .....	9
Förkortningar.....	11
1. Inledning .....	12
1.1 Brunifiering .....	12
1.2 Syfte .....	13
1.3 Frågeställning.....	13
3. Resultat.....	16
3.1 Litteraturoversikt.....	16
3.2 Trender i tre norrländska skogsbäckar.....	21
4. Diskussion.....	34
4.1 DOC.....	34
4.2 Järn och aluminium .....	35
4.3 pH .....	35
4.4 Markanvändning.....	35
4.5 Slutsats.....	36
Referenser .....	37
Tack .....	41



## Figurförteckning

Figur 1. Linjediagram över hur virkesförrådet fördelat över trädslag har förändrats i Sverige från år 1955 till och med år 2015.

Figur 2. Nedbrutna tidsserier över hur halten DOC i bäck 2, 4 och 7 förändrats över tid.

Figur 3. Trender för DOC tagna ifrån de nedbrutna tidsserierna av bäck 2, 4 och 7.

Figur 4. Regressionslinjer för DOC i bäck 2, 4 och 7. Punkterna är medelvärden för varje år sedan 1990 för bäck 2 och 4 och sedan 1993 för bäck 7.

Figur 5. Tidsserier med ARIMA som visar medelvärden per månad för DOC i bäck 2, 4 och 7 från 1990 i bäck 2 och 4 samt 1993 i bäck 7 till nutid samt en prognos två år fram i tiden.

Figur 6. Trenden för Fe och Al i bäckarna 2, 4 och 7 i Krycklans avrinningsområde med månadsvisa medelvärden som plottats som linje mellan 2017–2019.

Figur 7. Sammanställning av de tre bäckarnas trender för Fe och Al under tidsperioden 2017–2019.

Figur 8. Trendlinjer över halten Fe och Al från i Svartbergets försökspark. Data för Fe är från 1986 till 2010 och från 1995 till 2003 för Al.

Figur 9. Trendlinjer över DOC (månadsvis) och Fe (årsvis) för bäck 7 under tidsperioden 1993–2010.

Figur 10. Grafer med trendlinjer över DOC (månadsvis) och pH (årsvis) för bäck 2, bäck 4 och bäck 7. Dataunderlaget är från 1993–2019 för bäck 2 och från 1995–2019 för bäck 4 och 7.

Figur 11. Regressionslinje byggd på årliga medelvärden för pH i Svartbergets försökspark med data från 1986–2010. Regressionslinjer till medelvärden av järn och aluminium i Svartbergets försökspark. Data från 1986–2010 för Fe samt från 1995–2003 för Al.

Figur 12. Trendlinje över årliga medelvärden för pH i bäckarna 2,4 och 7 från 1999 till 2019.

Figur 13. Regressionslinjer och anpassade linjer till årliga medelvärden av pH för bäck 2,4 och 7.

Figur 14. Trendlinje över årliga medelvärden för sulfat i bäckarna 2,4 och 7 från 1995 till 2019.

# Förkortningar

DOC	Löst organiskt kol (C) (dissolved organic matter)
SOM	Organiskt material i mark (Soil organic matter)
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet
Fe <sup>2+</sup>	Tvåvärt järn
Fe <sup>3+</sup>	Trevärt järn
H.k.l.	Högsta kustlinjen

# 1. INLEDNING

## 1.1 Brunifiering

Brunifiering av ytvatten är idag ett växande problem i boreala skogar och innebär att halten av DOC (dissolved organic carbon) samt halten av järn ökar i sjöar och vattendrag. Det är inte helt fastställt vad den ökade brunifieringen beror på. Tidigare studier visar på att brunifiering påverkas av framförallt markanvändning, varmare klimat, ökad nederbörd och minskat svavelnedfall (Kritzberg et al. 2020).

DOC består av en komplex sammansättning av fenoliska, alifatiska och aromatiska molekyler. Sammansättningen är inte konstant för varje DOC-partikel utan varierar. Detta gör att varje DOC-partikel har unika fysikaliska och kemiska egenskaper (Gui et al. 2017). Den totala mängden kol (C) som är lagrat i DOC globalt är uppskattat till  $0,6 \times 10^{18}$  gram. Detta är ett nästan lika stort kollager som atmosfären ( $0,66 \times 10^{18}$  gram) och en betydande del i världens kolcykel (Hedge 1992). Trevärt järn ( $\text{Fe}^{3+}$ ) syns ofta som utfällning och är i sitt naturliga tillstånd inte mobilt. När  $\text{Fe}^{3+}$  binder till DOC blir det mobilt och kan lakas ut i vattendrag och bidra till brunifieringen (Ekström et al. 2011).

Brunifieringen varierar märkbart med årets olika årstider (Škerlep et al. 2019) och har enligt studier ökat på lång sikt (Kritzberg et al 2020; Škerlep et al. 2019). Speciellt kan en ökning ses från 1980 och framåt. Fluktuationerna på kort sikt tros bero på skillnader i nederbörd mellan olika årstider, perioder och år. Ökningen av brunifiering på lång sikt beror på flera variabler. Variablerna nederbörd, temperatur, svaveldeposition och ändrad markanvändning tros ha bidragit till 75% av brunifieringen av sjöar och bäckar. Framförallt den ökande planteringen och arealen av gran, *Picea abies*, har i flervariabelmodeller visats påskynda brunifieringen mest av de studerade variablerna (Škerlep et al. 2019). Brunifieringen leder till att reningen av dricksvatten blir dyrare samt obalans i akvatiska ekosystem (De wit et al. 2016) (Pilla et al. 2018).

## 1.2 Syfte

Syftet med detta kandidatarbete är att försöka skapa en bild av hur kunskapsläget kring brunifiering av ytvatten ser ut. Det görs genom att undersöka och sammanställa befintlig litteratur. Utifrån litteraturen, samt från redan befintliga data från Krycklans avrinningsområde, kommer problem som funnits att försöka konkretiseras. Data från Krycklan kommer användas för att undersöka förändringar av halten DOC samt järn över tid och studera vad eventuella förändringar kan bero på. För att avgränsa arbetet kommer det att fokusera på hur förhållanden för brunifiering ser ut i boreala områden, främst i Sverige och i krycklanområdet men de resultat och slutsatser som dras tros överensstämma med stora delar av den boreala regionen.

## 1.3 Frågeställning

Hur ser kunskapsläget runt brunifiering ut, i Sverige och resten av världen? Hur ser trenden ut för halter av DOC och järn i ytvattnet i Krycklans avrinningsområde?

## 2. MATERIAL OCH METOD

Arbetet har genomförts genom att undersöka den litteratur som finns tillgänglig i dagsläget, det vill säga främst vetenskapliga artiklar men även böcker. Arbetet har även inneburit att analyser har gjorts av data från Krycklan genom att studera förändringar och trender i halten DOC, samt andra ämnen som kan påverka brunifiering, över tid.

Krycklan är beläget i Västerbottens län i Sverige utanför Vindelns samhälle cirka 50 km väster om östersjön (64°14'N, 19°46'E). Krycklan består av en naturlig mosaik av sjöar, älvar, bäckar, skogsmark och myrmark. Området är 6790 ha stort och är beläget i altitud mellan 114–405 meter över havet (m.ö.h).

Avrinningsområdet är en del av Sveriges lantbruksuniversitets (SLU) infrastruktur för fältforskning vid Svartbergets fältstation. Här har studier på vatten och skogsmark gjorts sedan 1910 och regelbundna mätningar på halten DOC i avrinningsområdets olika bäckar gjorts sedan mitten av 1980-talet. Detta har inneburit att stora mängder ytvattensdata och grundvattensdata har samlats in under relativt lång tid i borealt klimat. Området sköts från Svartbergets forskningsstation och ingår i SITES water. SITES water är ett långsiktigt övervakningsprogram och syftar till att mäta hydrologiska, fysikaliska, kemiska och biologiska parametrar i vatten (SITES, 2019). Området har genomgått ett antal nedisningar varav den senaste gav upphov till en högsta kustlinje (h.k.l) på 257 meter. Detta gör att avrinningsområdet har två distinkt olika karaktärer, en över h.k.l och en under h.k.l. Området över h.k.l. består till största delen av morän och torv medan området under h.k.l. mestadels består av postglaciala sediment från Vindelälvens tidigare delta (Laudon et al. 2013).

Krycklans avrinningsområde är till 87 % täckt av skog, 9 % myr, samt 8 % berg och hållar. 22 % av avrinningsområdet är avsatt sedan 1922, resterande skog har skogsbruk som dominerande markanvändning. I övrigt är den mänskliga påverkan låg. Tall, *Pinus sylvestris* L., är det dominerande trädslaget (63 %) men även en betydande andel gran, *Picea abies* L. Karst, (26%) finns i avrinningsområdet. Förutom barrträd finns också en mindre andel lövträd i området, främst björk, *Betula* L., (Lidman et al. 2017). Berggrunden i avrinningsområdet består av Svekofenniska metasediment till (94 %), vulkaniska bergarter av sur och neutral karaktär (4%) och basiska vulkaniska bergarter till (3 %). Jordarten består mestadels av morän (51 %) och sorterade sediment (30%). Klimatet är kallt och av humid typ med en medeltemperatur i juli på +14,7 °C och medeltemperatur i januari på -9,5 °C (Laudon et al. 2013). Sett över hela året har medelvärdet i

temperatur mellan år 1981–2010 varit 1,8 °C. Den genomsnittliga tiden som marken är snötäckt per år är 168 dagar (medelvärde från 1981–2007) (Haei et al. 2010). Medelnederbörden är 614 mm per år, avrinningen är 311 mm per år och evapotranspirationen är 303 mm per år (Laudon et al. 2013).

De delavrinningsområden som analyserats i detta kandidatarbete benämns C2 (bäck 2), C4 (bäck 4) och C7 (bäck 7). Data från C2, C4 och C7 har under åren inhämtats i plastflaskor och förts till Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå för analyser. 1985 började provtagningen av C7, medan provtagningen av C2 och C4 startade året efter (1986). Vid mätningarnas start mättes endast mängden DOC i de inhämtade proverna med ojämna mellanrum. Därefter har proverna utökats med analyser och sedan 2003 finns ett standardiserat protokoll där data för absorbans (190–1100 nm), katjoner, anjoner, pH, DOC och DIC (dissolved inorganic carbon) analyseras från vattenproverna (Laudon et al. 2013).

Detta kandidatarbete kommer att avgränsas genom att endast analysera data från 3 av de totalt 18 bäckarna som det finns data insamlat från i Krycklans avrinningsområde. Data från bäckarna/underavdelningarna Nyänget (C7), Västrabäcken (C2) och Kallkälsmyren (C4) av Krycklans avrinningsområde kommer att analyseras. C7 omges av både skog och myr och är den äldsta, ur forskningssynpunkt, av underavdelningarna då den etablerades för forskning år 1980. C2 är helt omgiven av skog som inte blivit brukad de senaste 120 åren och C4 dränerar en myr som är omgiven av skog. C7 innefattar både C2 och C4 och får således vatten från både skog- och myrmark. C2 och C4 är yngre ur forskningssynpunkt och data har här samlats sedan år 1984. Data över DOC har samlats in regelbundet från C2, C4 och C7 sedan 1990 och därför har detta arbete fokuserat på att analysera DOC från och med 1990 (Laudon et al. 2013). Mängden järn och aluminium kommer också att analyseras för att se om det finns likheter eller skillnader mellan dessa ämnen över tid. I naturen förekommer oftast aluminium uteslutande i form av  $\text{Al}^{3+}$  medan järn förekommer i formerna  $\text{Fe}^{3+}$  och  $\text{Fe}^{2+}$  som påverkas av redoxförhållanden. Det innebär att om halterna för Fe och Al följer varandra över tid går det att anta att laddningarna styr dess förekomst hos DOC. Om de inte följer varandra går det att anta att Fe har påverkats av förändringar i markens redoxförhållanden.

Analys av data från Krycklans avrinningsområde gjordes med hjälp av statistiska hjälpmedel för att se om det finns signifikanta skillnader mellan data över tid. Tidsserier, ARIMA (autoregressive integrated moving average), linjär regression, prognoser och linjär hantering av plottade data har främst utförts i det statistiska hjälpmedlet R-studio. Även Microsoft Excel och Minitab har använts för hantering och analys av inhämtade data. Signifikansnivån  $\alpha = 0,05$  har använts i de statistiska analyserna.

## 3. RESULTAT

### 3.1 Litteraturöversikt

#### 3.1.1 DOC

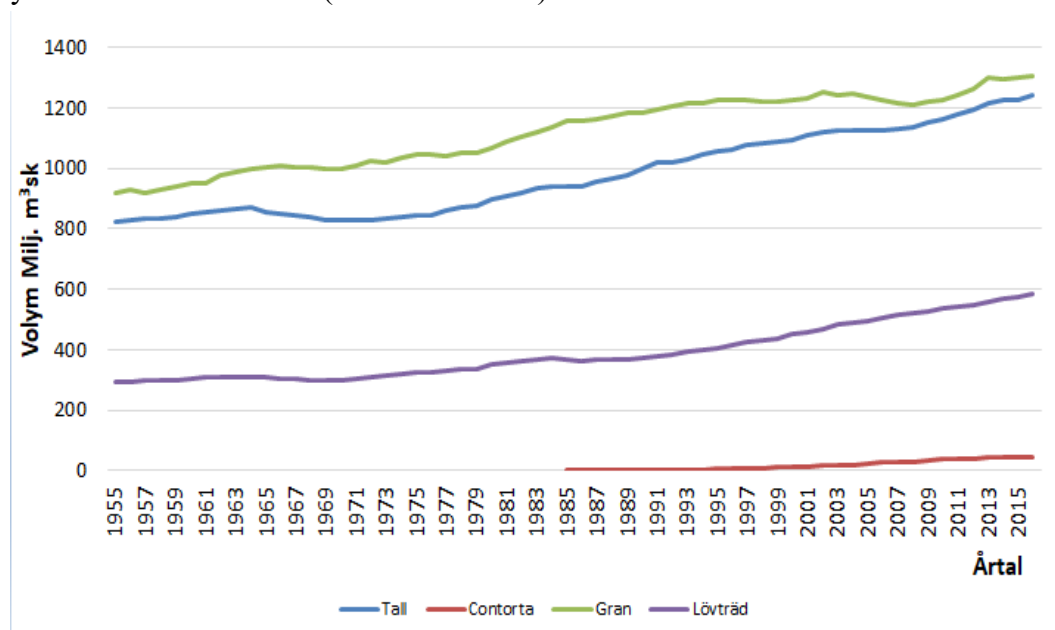
Mängden DOC och dess sammansättning varierar med årstider samt med variationer i pH. Den molekylära sammansättningen av DOC tenderar till att bli mindre mättad, mindre syresatt, få minskad molekylär storlek samt en ökad andel kväveinnehållande komponenter vid högre pH-värden. Detta betyder att vid låga pH-värden finns troligen en hög koncentration av tanniner vilket hämmar den mikrobiella nedbrytningen av biologiskt material såsom DOC (Roth et al. 2015). Tanniner produceras och utsöndras av växter vid olika typer av stress till exempel: torka och lågt pH (Bussoti et al. 1998). Vidare kan den högre biologiska aktiviteten vid höga pH-värden vara korrelerade med den högre andelen kvävehaltiga komponenter i DOC. Över vegetationsperioden kan en trend i kompositionen av DOC ses. Från mars till november minskar de omättade bindningarna, molekylär diversiteten och kväve innehållande komponenterna i DOC. Troligen är det den minskade mikrobiella aktiviteten till följd av den lägre temperaturen som leder till att den högre molekylära diversiteten i DOC och den ökande andelen kvävehaltiga föreningar efter vinterhalvåret (december till mars). Kompositionen av DOC är alltså beroende av pH, temperaturen och den mikrobiella aktiviteten på en specifik plats (Roth et al. 2015).

#### 3.1.2 Markanvändningens påverkan på DOC

Boreala jordar har betydligt högre mängd DOC än andra beskogade biom. Detta beror främst på att boreala skogar har en relativt hög andel barrträd, såsom tall och gran (Kritzberg et al. 2020). Förnan från barrträden är ett lågkvalitativt substrat för mikrobiella processer, medan förna från lövträd är av högre kvalitet. Barrträdens förna är svårnedbrytbar och tillsammans med det boreala klimatet leder detta till en långsam mikrobiell nedbrytning (Duan et al. 2014). En annan bidragande orsak till den höga mängden DOC i boreala jordar är också att mer DOC urlakas från barrskogar jämfört mot lövskogar (Camino-Serrano et al. 2014). Det har skett en



ökande andel plantering av gran i Sverige sedan förindustrialismen. Den ökade planteringen beror främst på att grannen är eftertraktad av skogsbruket för sina vedegenskaper, hårdighet och sin relativt enkla skötsel. I figur 1 visas förändringen av virkesförråd för tall, gran, lövskog och contortatall i Sverige över tid och är baserad på data hämtad från riksskogstaxeringen databas (Riksskogstaxeringen, 2019). Övergången från lövskogar till barrskogar har betydelse för DOC, speciellt i den strandnära zonen, och kan ha en stor påverkan på brunifiering av ytvatten (Hellberg et al. 2009). Den strandnära zonen har en viktig funktion då dess innehåll av SOM (soil organic matter) transporteras till ytvatten i form av DOC (Dick et al. 2015).



Figur 1. Linjediagram över hur virkesförrådet fördelat över trädslag har förändrats i Sverige från år 1955 till och med år 2015. Dataunderlaget är hämtat från riksskogstaxeringens databas.

### 3.1.3 Svaveldeposition

Andelen svavelrikt nedfall har de senaste åren minskat (Akselsson et al. 2013). En rapport av Maas och Grennfelt (2016) visar på hur svavelnedfallet i Sverige har minskat med 70 % från 1990 till 2010.

Studier har visat att den ökande mängden DOC och järn i ytvatten är kopplade till minskningen av svavel i nederbörden (Ekström et al. 2011). Det sura svavlet från nederbörd påverkar markens egenskaper genom att öka mängden katjoner i marken samtidigt som det blir ett underskott på anjoner. Markpartiklarna är i sitt naturliga tillstånd negativt laddade men blir med ett ökat tillskott av katjoner mer positivt laddade då katjonerna binder till de negativa markpartiklarna. När andelen svavelrik nederbörd minskar ökar detta den negativa laddningen på DOC vilket

leder till att DOC blir mer lösligt och urlakas. Samtidigt kan trevärt järn ( $\text{Fe}^{3+}$ ) binda till det negativt laddade DOC och urlakas då till ytvatten tillsammans med DOC (Ekström et al. 2011). Järn bundet till DOC tros bidra till brunifieringen (Keller, 2007).

### 3.1.4 Tidigare studier om brunifiering

Många studier på brunifiering har gjorts i Umeåområdet, framförallt vid avrinningsområdet Krycklan som är en del av Sveriges lantbruksuniversitets (SLU) infrastruktur för fältforskning vid Svartbergets fältstation. I en studie som gjorts i Krycklan har det konstaterats att halten DOC i skogsmark har ökat signifikant över tid. I myrar har det däremot inte skett någon signifikant ökning över tid och i större vattendrag går det inte att se någon tydlig trend (Fork et al. 2020).

Då det är känt att DOC kan förändra vattenfärg menar Ekström & Kritzberg (2012) att även den ökande mängden järn i sjöar och bäckar är en viktig bidragande orsak till brunifieringen. Studier visar att komplex av DOC och järn har större påverkan på vattenfärg än enbart DOC (Maloney et al. 2005). Ekström & Kritzberg (2012) har undersökt mängden järn i 30 svenska älvar, studien visar att i norra Sverige kan 74% av förändringen i vattenfärg förklaras av den ökande mängden järn. Sett över alla älvar i Sverige kan i snitt 25 % av förändringen i vattenfärg förklaras av den ökade järnmängden. I studien sågs en ökning av järn i 27 av 30 älvar (21–468%) samt att mängden järn i vatten ökar mer än mängden DOC. Då både mängden järn och DOC verkar öka vid samma förhållanden och tidpunkter tycks det vara liknande processer, eller till en stor del samma processer, som påverkar halten järn och DOC i sjöar och vattendrag. Att halten järn i vatten ökar tros främst beror på ändrade redoxförhållanden där andelen anjoner i vattnet ökar vilket leder till en ökad transport av tvåvärt järn ( $\text{Fe}^{2+}$ ) (Ekström & Kritzberg 2012). Då det konstaterats att både DOC och Fe ökar, generellt sett, är det möjligt att de har en gemensam bakomliggande faktor. Samtidigt verkar den ökande mängd järn och den högre andelen barrträd vara positivt korrelerade. Dock har det även observerats öknings av järn i ej beskogade områden (Björnerås et al. 2017).

I en studie där mängden DOC i 474 ytvattenområden i Sverige, Norge och Finland studerats visade resultat från vattenprover från 1990 till 2013, minst 15 års data från varje ytvattenområde, att mängden DOC ökat i samtliga ytvatten (De Wit et al. 2016). Medianen för samtliga platser inräknade var 1,4 % ökning av DOC per år med en median på de platser där DOC ökade som mest på 1,7 %. Ökningen var som högst i vattenområden där nedfallet av svavel minskat kraftigt under den studerade perioden. Subarktiska ytvatten visade på den minsta ökningen av DOC och hade en median på 0,8 % per år. Dessa resultat pekar på att trenden av en ökad

brunifiering och högre halter DOC är regionalt omfattande och inte bara på lokal nivå. På torra platser var fluktuationer av DOC främst drivna av mängden nederbörd under provtagnings perioden, ökad nederbörd gav högre halter av DOC, men dessa fluktuationer minskade med mer humida förhållanden. De wit et al. (2016) studerade också hur stor ökningen av DOC blev med ökad nederbörd på det specifika ytvattenområdet. Resultatet var att en ökning på 10 % i mängden nederbörd gav 30 % högre mobilitet mellan mark och vatten av organiskt kol. Detta tyder på att nederbörd och humiditet spelar en stor roll för den globala kolcykeln, med ökad nederbörd i de boreala zonerna förmodas den rådande brunifieringstrenden fortsätta och leda till allt brunare vatten med ökande halt DOC och till ett allt större problem vid dricksvattentäkter där ytvatten utnyttjas. En ökande hastighet av koltransport mellan land och vatten påverkar också akvatisk och terrest produktivitet och med det även inlagringen och utsläppen av växthusgaser (De wit et al. 2016).

Studier från sjöarna Lake Lacawac och Lake Giles i Pennsylvania visar att temperaturen av ytvatten i de båda sjöarna har ökat de senaste 27 somrarna utan någon långsiktig ökning av lufttemperaturen under samma period (Pilla et al. 2018). Under samma period fanns ingen ökad instrålning eller förlängd växtperiod, däremot ökade nederbörden samt pH successivt i sjöarna. Mängden DOC ökade markant i sjöarna vilket ledde till brunifiering. Ökningen av DOC beror troligtvis på en minskad antropologisk försurning tillsammans med ökad nederbörd (Pilla et al. 2018). Studien visade att den förhöjda temperaturen samt minskade värmeledningen, minskad värmeledning mellan yt- och djupare vatten, i sjöarna starkt är korrelerad med vattnets transparens och halten DOC. De förändrade egenskaperna i värmeledning, det varmare ytvattnet, kallare djupvattnet samt den minskade transparensen påverkar ekosystemet och de biogeokemiska förhållanden i sjöarna. Detta borde studeras mer ingående för att få en djupare förståelse för hur klimatförändringarna kommer påverka akvatiska system (Pilla et al. 2018).

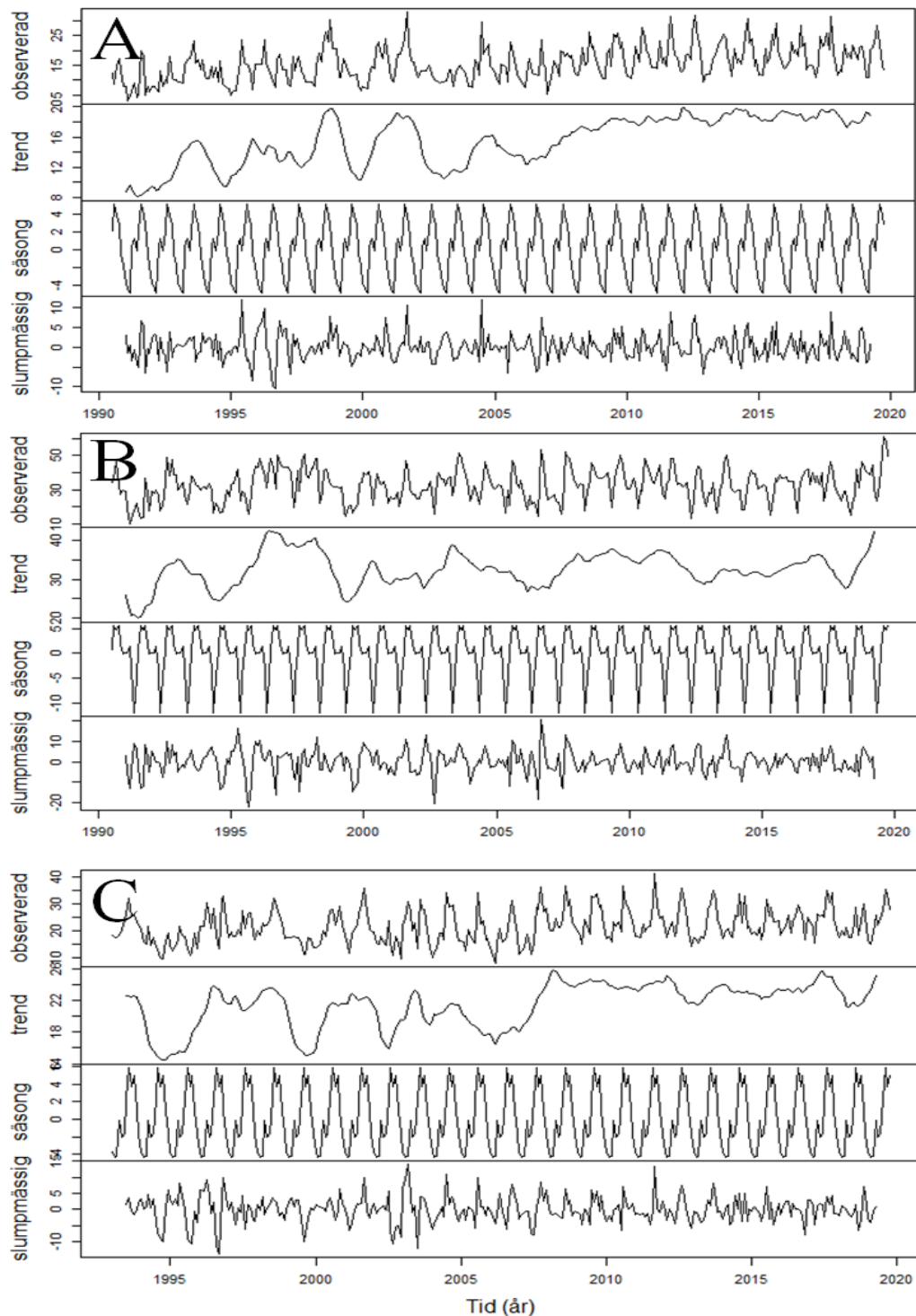
Studier som gjorts på abborrar visar att faktorerna varmare och brunare vatten i sjöar och bäckar har negativa effekter på fiskar (Van Dorst et al. 2018). Mer brunifiering och varmare vatten påverkar tillväxten av enskilda individer men även populationsstorleken och dess dynamik. Varmare vatten gav en mindre biomassa hos populationen samt en större populationsandel unga och mindre fiskar. Brunare vatten tycks påverka enskilda individer i populationen och inte hela populationen på sådant sätt som varmare vatten. Värmen påverkade endast unga abborrars tillväxt positivt, medan brunare vatten tycks ha en större negativ effekt hos äldre individer än yngre. Effekten hos hela populationen av både varmare och brunare vatten tros vara negativ och större än om bara en av faktorerna skulle vara närvarande.

### 3.1.5 Dricksvatten och DOC

Rent dricksvatten är nödvändigt för människor och ett av Förenta Nationernas (FN:s) 17 globala mål för hållbar utveckling. I Sverige tas en stor del av dricksvattnet upp från ytvatten (Kritzberg et al. 2020). Detta innebär att höga koncentrationer av DOC kan innebära en hälsofara då många katjoner, däribland tungmetaller, kan fästa vid DOC och mobiliseras. Metylkviksilver har visat sig vara beroende av DOC för att mobiliseras från SOM vidare till vattendrag (Lydersen et al. 2002). I en studie från 2016 analyserades två sjöar i Norge och det konstaterades att mängden metylkvicksilver var korrelerad med brunifieringsgraden (Isidorova et al. 2016). Metylkviksilvret innebär allvarliga hälsorisker för människor och predatorer då det assimileras högt upp i näringskedjan (Lydersen et al. 2002). Studier av Köhler et al från 2016 pekar på att koncentrationen av DOC i dricksvatten bör hållas under 4 mg/l. Mälaren, som bidrar med dricksvatten till Stockholmsområdet, har enligt Köhlers mätningar 5 mg DOC per liter dricksvatten. Koncentrationen DOC förväntas fortsätta öka baserat på markanvändning och klimatförändringar (Kritzberg et al. 2020).

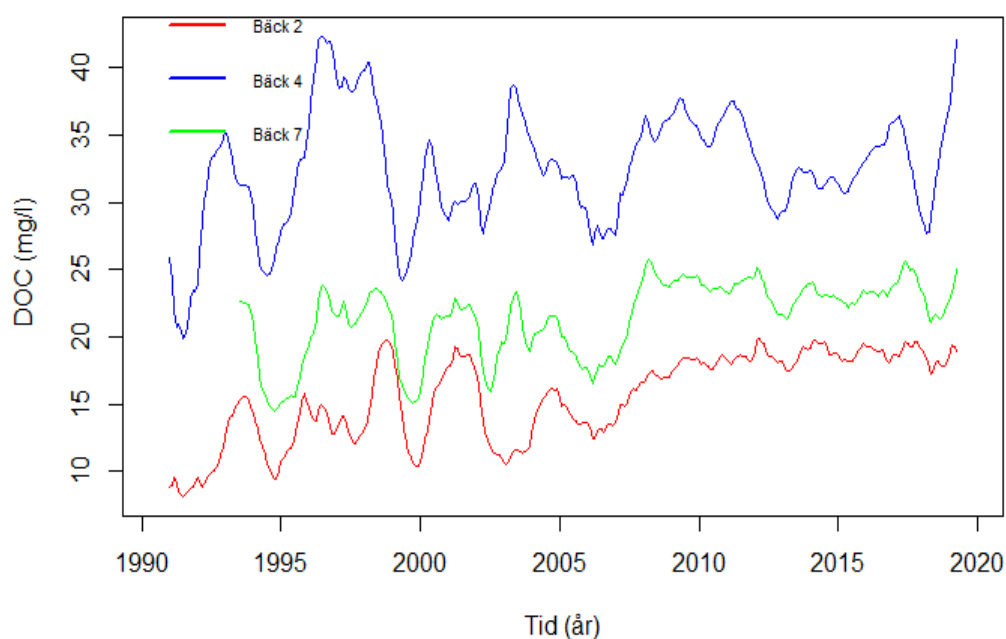
Ökade mängder DOC kan innebära problem bland reningsverk. Under reningsprocessen kan DOC bilda restprodukter som har visat sig innebära ökade hälsoproblem. Dessa restprodukter kan försämra vattenkvaliteten genom att påverka smak, lukt, och färg. Samtidigt kan restprodukterna innehålla organiska föroreningar, tungmetaller och försämra effektiviseringen i reningsverk då det täpper igen membran och försämrar det aktiva kolets renande funktion (Lavonen et al. 2013).

### 3.2 Trender i tre norrländska skogsbäckar



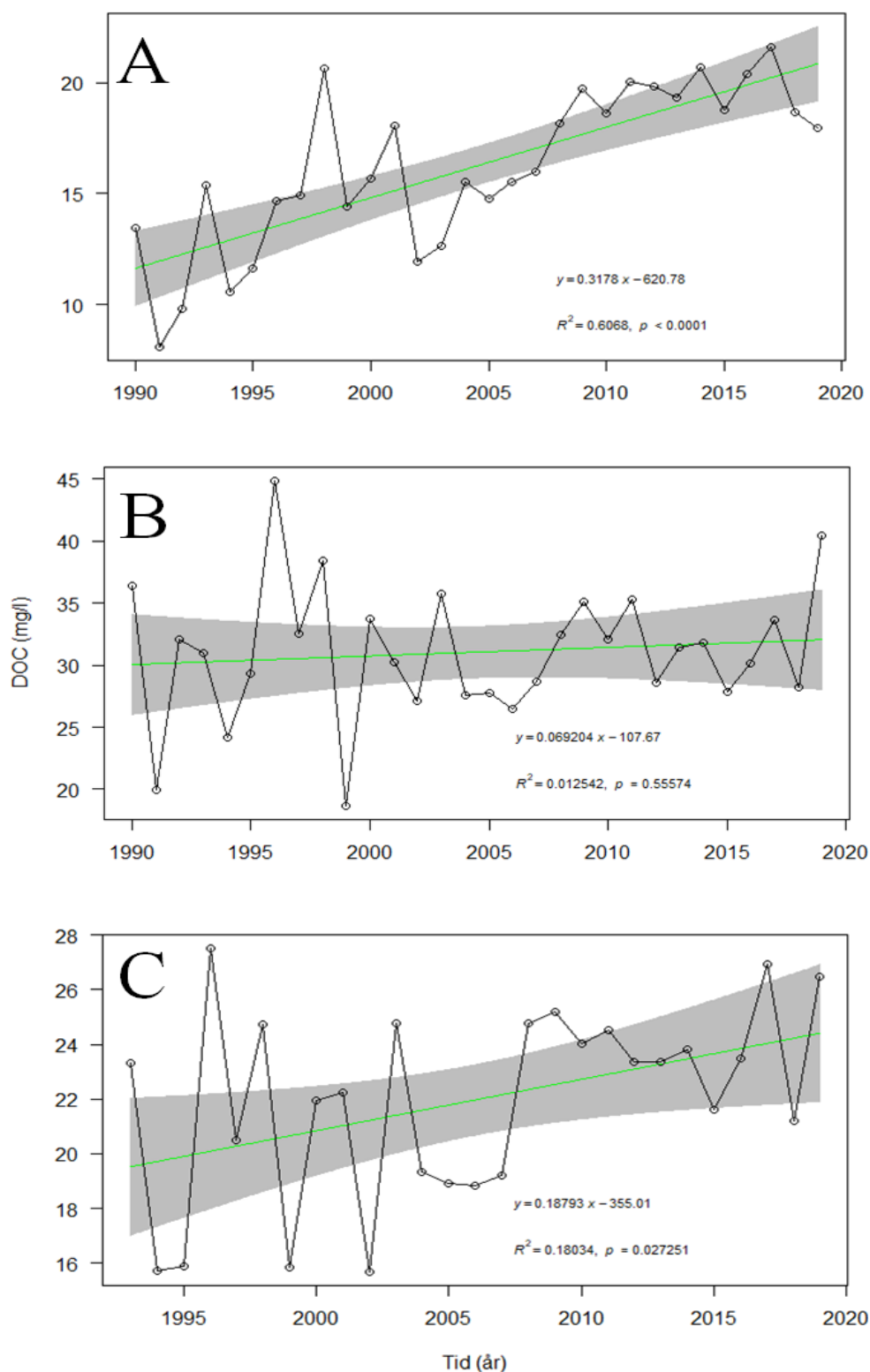
Figur 2. Nedbrutna tidsserier över hur halten DOC i bäck 2 (A), 4 (B) och 7 (C) förändrats över tid. Observerade tidsserier är de faktiska värdena som har mätts upp. Trend visar hur den faktiska trenden för data ser ut. Säsong visar hur de uppmätta värdena är beroende av säsongen och hur DOC pendlar med årstiderna. Slumpmässig innebär fluktuationer eller variation som inte följer trenden och som inte kan förklaras av säsong eller trend.

Den nedbrutna tidsserien för bäck 2 i *figur 2* visar en uppgång av halten DOC från 10 mg/l till 20 mg/l mellan 1990 och 2019. Bäck 7 visar en uppåtgående trend av halten DOC, framförallt under år 2008 och stabiliserar sig efter detta på en ny jämn nivå omkring 23 mg/l DOC. Bäck 4 har stora variationer inom enskilda år samt mellan olika år. *Figur 3* visar att halten DOC är i snitt högre i bäck 4 än för bäck 2 och 7 men varierar mellan 25 och 40 mg/l. Detta visar på att de årliga fluktuationerna av DOC som utlakas, i bäck 4, ur Kallkälsmyren är större än för i de båda skogsbäckarna 2 och 7.

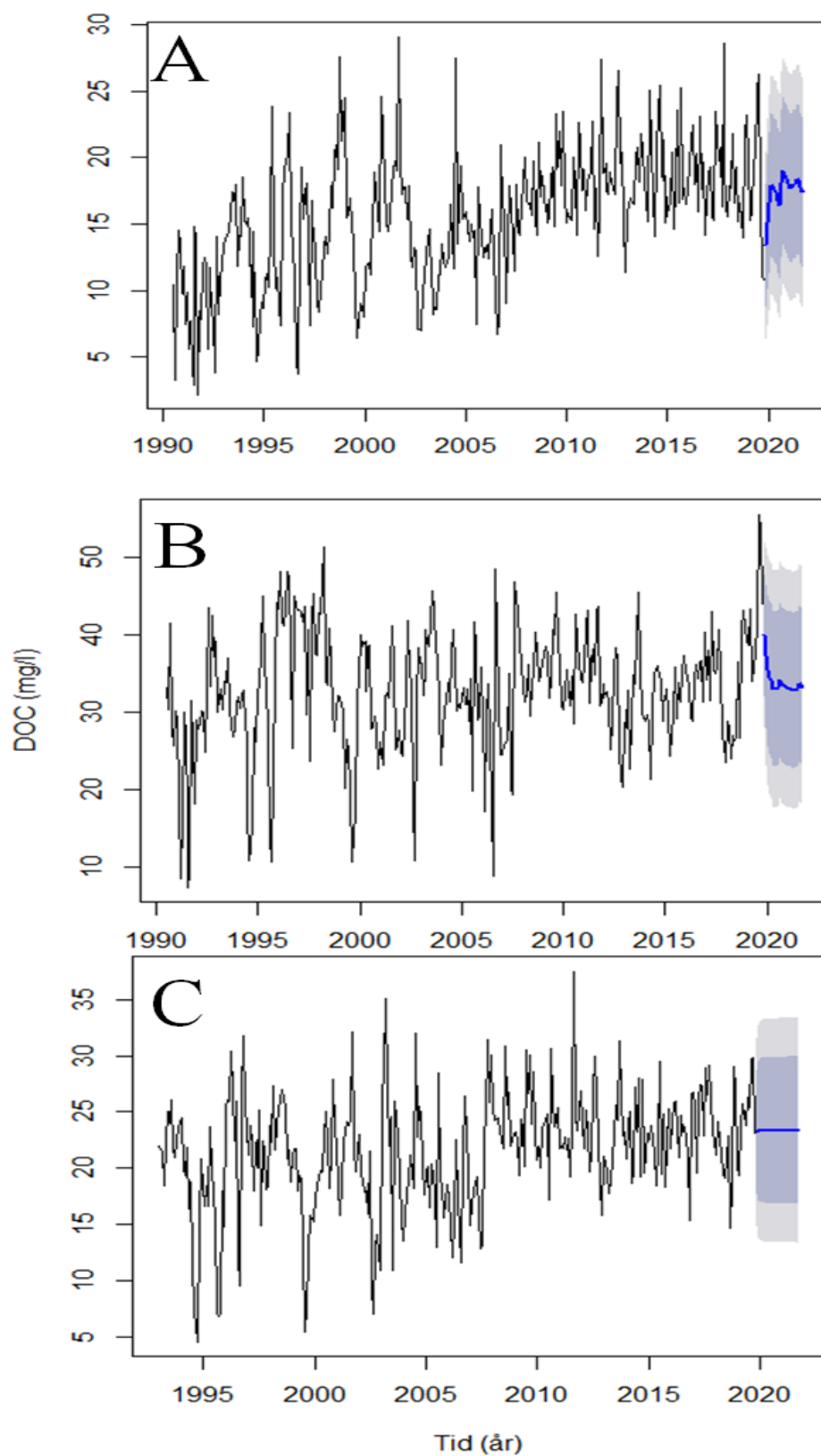


*Figur 3. Trender för DOC tagna ifrån de nedbrutna tidsserierna av bäck 2, 4 och 7.*

I *figur 4* nedan går det att utläsa att regressionslinjen för bäck 2 visar på en ökning av DOC mellan 1990 och 2019 från 12–20 mg/l ( $p < 0,0001$ ,  $R^2 = 0,61$ ). För bäck 4 går det inte att se någon direkt ökning av DOC över tid och ( $p = 0,56$ ,  $R^2 = 0,013$ ). Bäck 7 visar en ökning av DOC som är mindre än den för bäck 2 men är fortfarande statistiskt signifikant ( $p = 0,027$ ,  $R^2 = 0,18$ ).



Figur 4. Regressionslinjer för DOC i bäck 2 (A), 4 (B) och 7 (C). Punkterna är medelvärden för varje år sedan 1990 för bäck 2 och 4 och sedan 1993 för bäck 7. Det grå området representerar ett konfidensintervall med konfidensgraden 95 %.

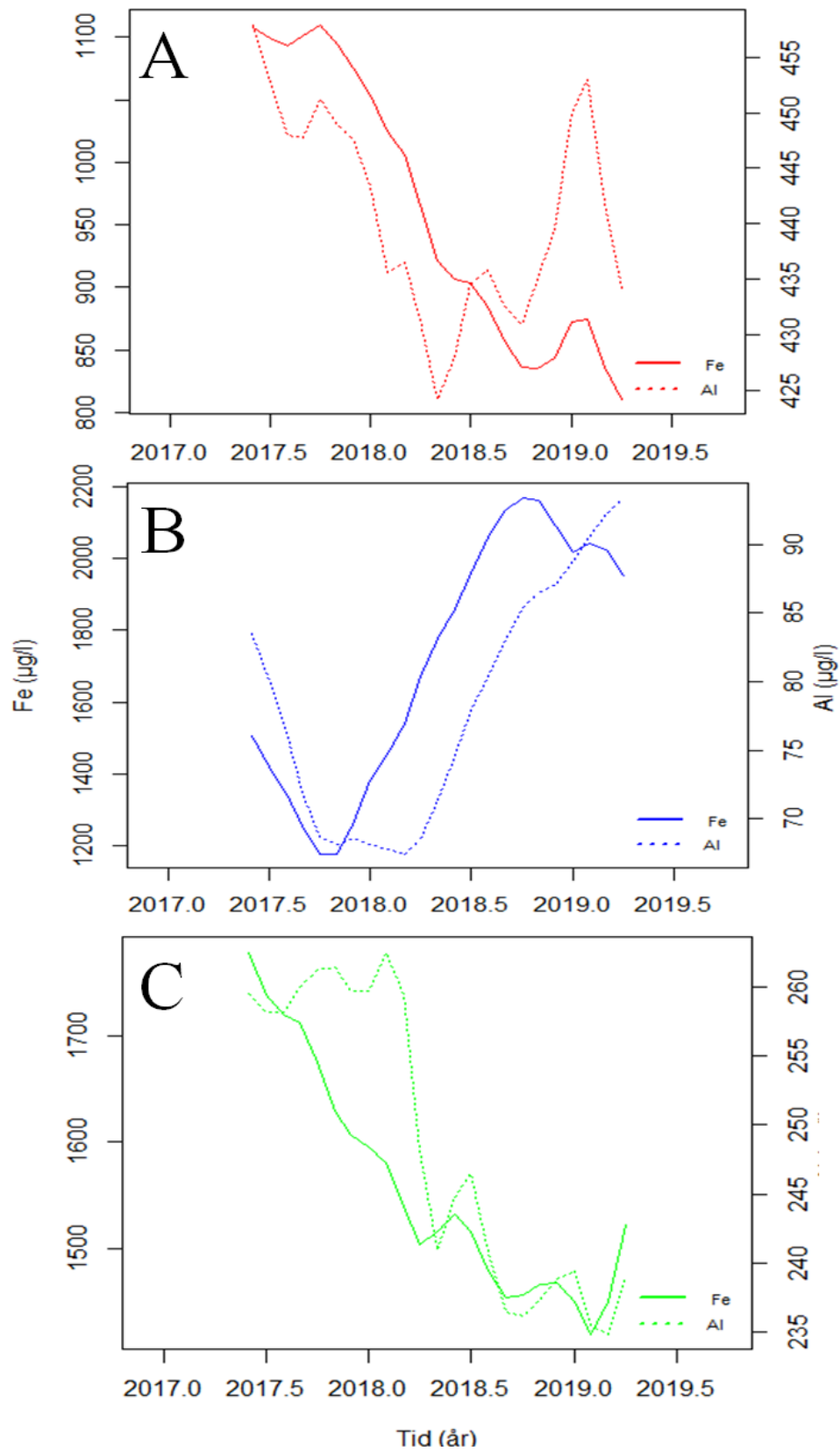


Figur 5. Tidsserier med ARIMA som visar medelvärden per månad för DOC i bäck 2 (A), 4 (B) och 7 (C) från 1990 till 2019 i bäck 2 och 4 samt 1993 till 2019 i bäck 7 samt en prognos två år, 24 månader, fram i tiden.

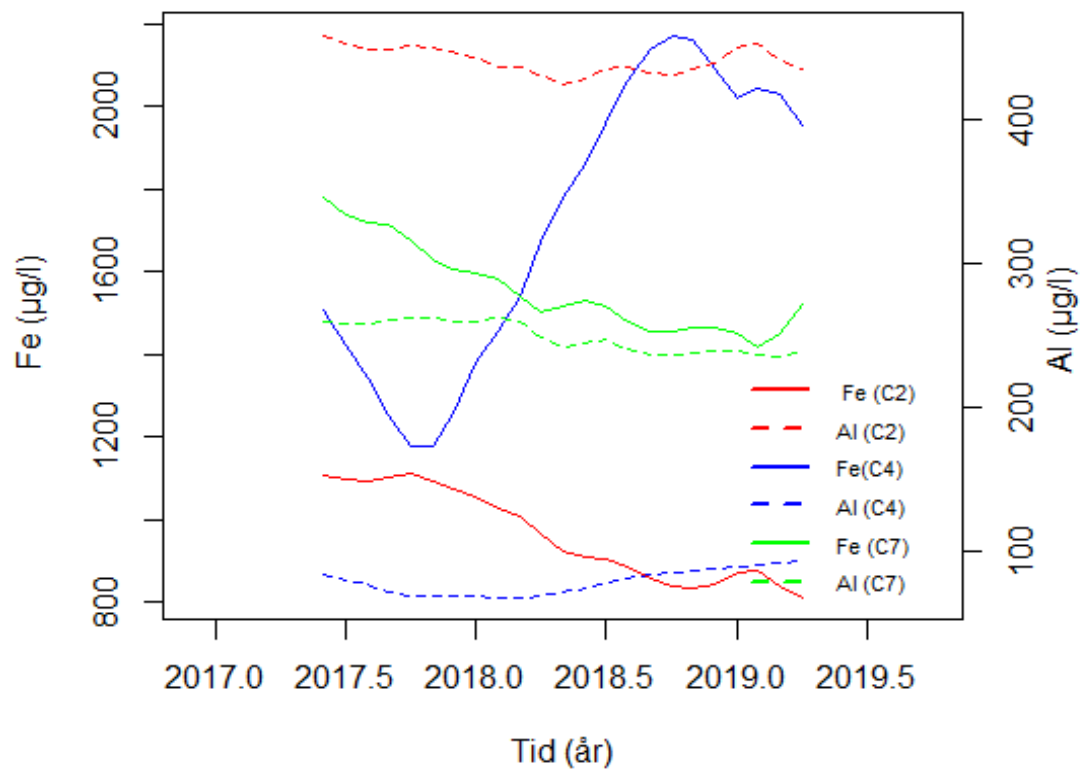


I *figur 5* synliggörs hur medelvärden av mängden DOC har förändrats över tid i bäckarna 2, 4 och 7. Figuren visar inte hur DOC beror på säsong utan grundar sig enbart på slumpmässighet och trend i data. Bäck 2 visar en uppåtgående trend med värden från ungefär 10 mg/l år 1990 till 20 mg/l år 2019. Bäck 4 verkar hålla sig relativt oförändrad över tid, medan bäck 7 höll en oförändrad nivå på 19 mg/l till 2008 då DOC ökade kraftigt för att sedan vara ganska konstant runt 23–24 mg/l fram till 2019. Prognosen för bäck 2 är säkrast, då trenden är tydligast i denna bäck och en bättre ARIMA modell gavs av att ta bort trenden. Prognosen för bäck 2 visar på att halten DOC tros hålla sig runt 20 mg/l. Prognosen för bäck 4 är mindre säker och ingen speciell trend kan här ses. Prognosen förutspår att halten DOC fortsätter förhålla sig strax under 35 mg/l för bäck 4, och modellen grundar sig främst på medelvärdet av DOC. Bäck 7 förväntas hålla en DOC-halt på strax över 30 mg/l de närmsta två åren, men har en relativt osäker prognos då variationen är stor mellan olika provtillfällen och den ökande DOC trenden främst grundar sig på ökningen av DOC under 2008.

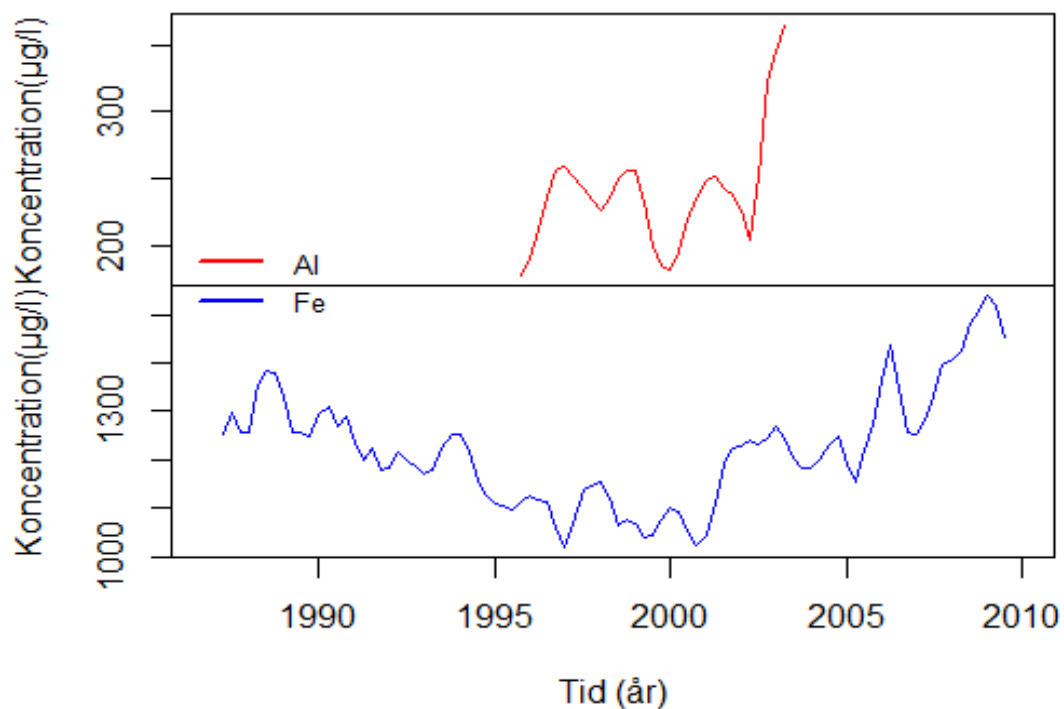
Enligt *figur 6* och *figur 7* nedan är halten järn nedåtgående för bäck 2 och bäck 7 medan halten är uppåtgående för bäck 4. Det finns en del variation för halten järn sett över året och bäck 4 uppvisar störst fluktuation. Trenden för halten aluminium tycks vara nedåtgående för bäck 2 och 7. För bäck 4 verkar trenden för aluminium vara uppåtgående. Noteras bör att tidshorisonten för dessa data är mycket kort och fluktuationerna för till exempel bäck 4 är mycket stora så inga direkta slutsatser kan dras.



Figur 6. Trenden för Fe och Al i bäckarna 2 (A), 4 (B) och 7 (C) i Krycklans avrinningsområde. Månadsvisa medelvärden som plottats som linje mellan 2017–2019.

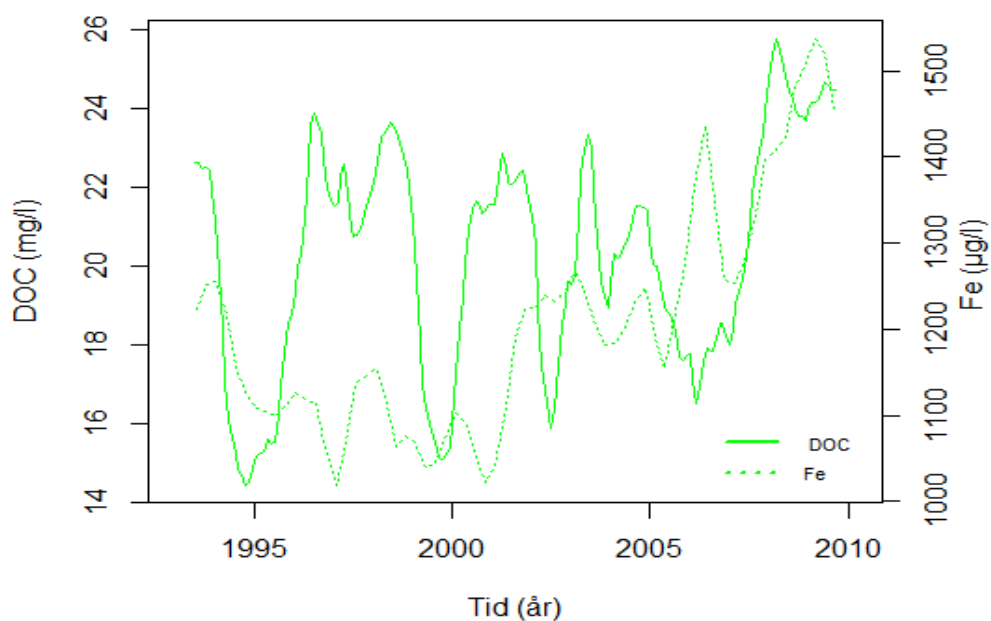


Figur 7. Sammanställning av de tre bäckarnas trender för Fe och Al under tidsperioden 2017–2019.

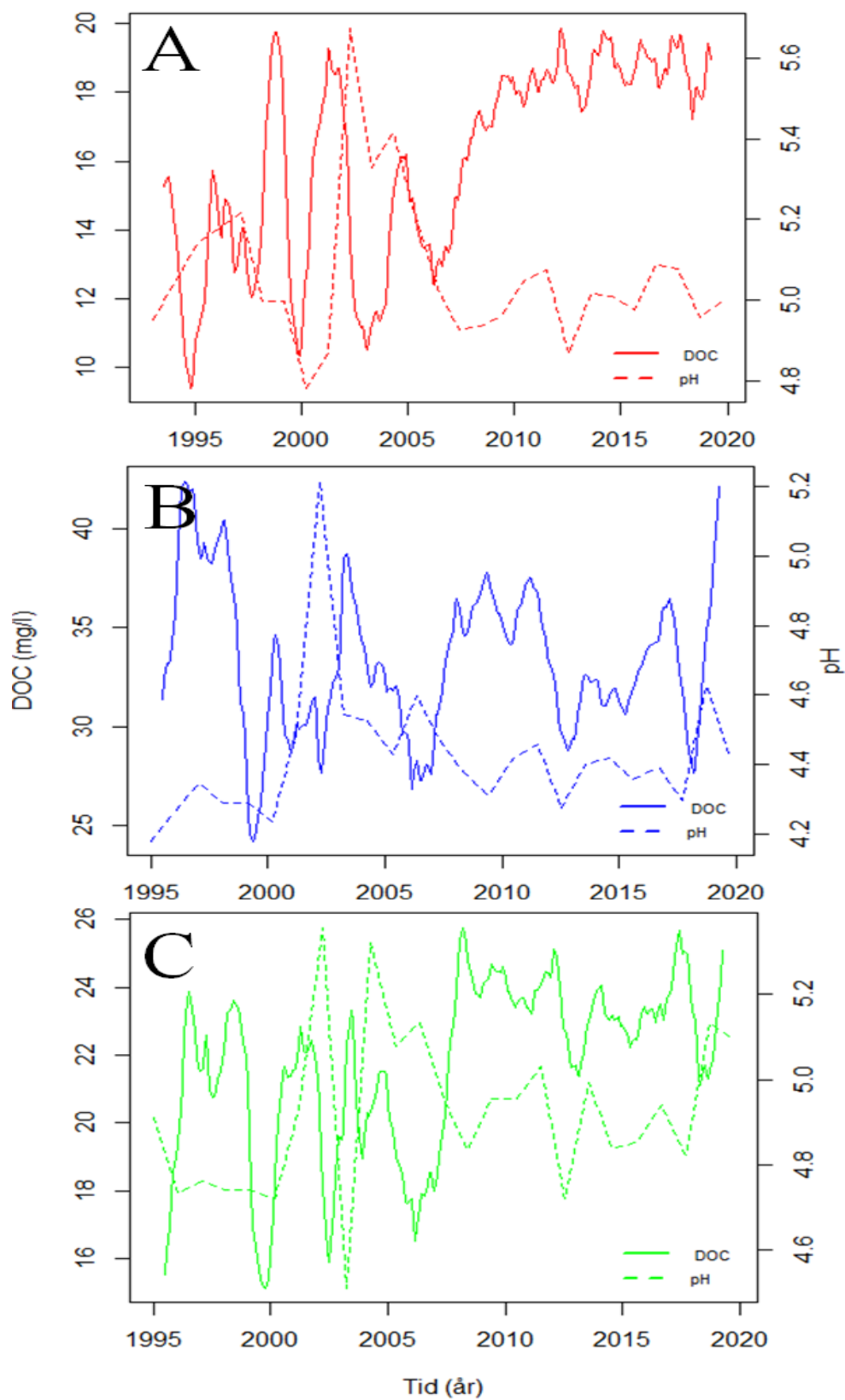


Figur 8. Trendlinjer över halten järn (Fe) och aluminium (Al) i bäck 7 från Svartbergets försökspark. Data för järn är från 1986 till 2010 och från 1995 till 2003 för Al.

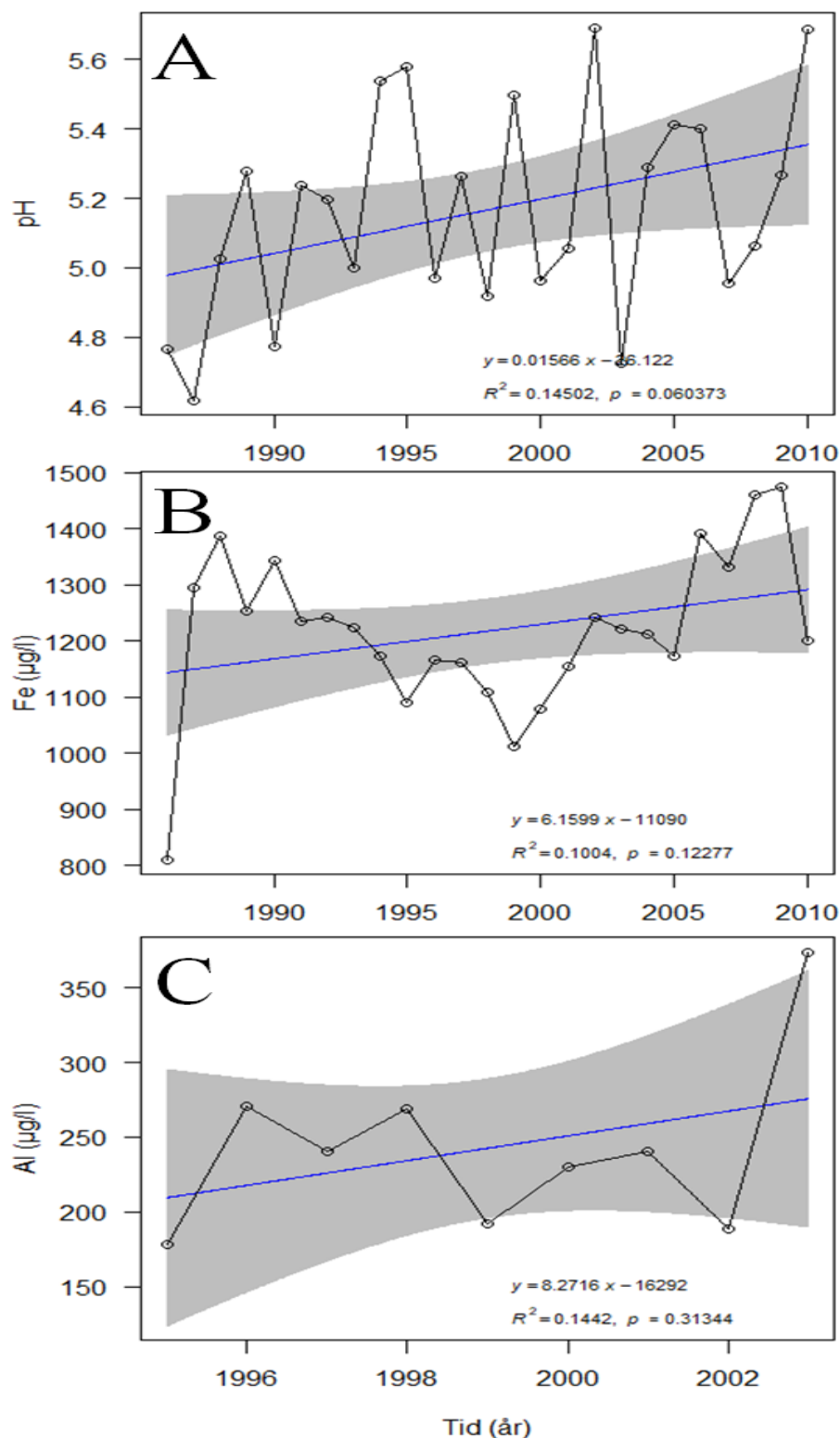
Figur 8 visar att trenden för järn i bäck 7 ser ut att gå ner från ungefär 1300  $\mu\text{g/l}$  till 1100  $\mu\text{g/l}$  mellan år 1986–2000. Därefter stiger trenden och halten järn når ungefär 1500  $\mu\text{g/l}$  år 2010. Trenden för aluminium i bäck 7 verkar vara uppåtgående och går från knappt 200  $\mu\text{g/l}$  år 1995 till över 350  $\mu\text{g/l}$  år 2003. I figur 9 nedan synliggörs trendlinjer över DOC och Fe i bäck 7 där trenderna inte tycks följa varandra under tidsperioden 1993–2010.



Figur 9. Trendlinjer över DOC (månadsvis) och järn (Fe) (årsvis) för bäck 7 under tidsperioden 1993–2010.

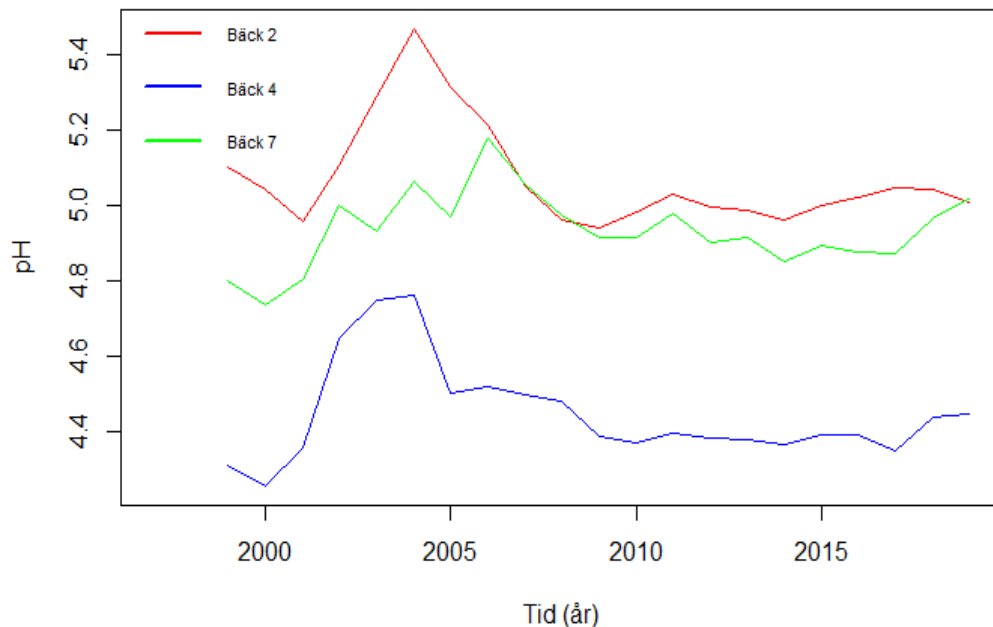


Figur 10. Trendlinjer över DOC (månadsvis) och pH (årsvis) för bäck 2 (A), bäck 4 (B) och bäck (C). Data från 1993–2019 för bäck 2 och från 1995–2019 för bäck 4 och 7.



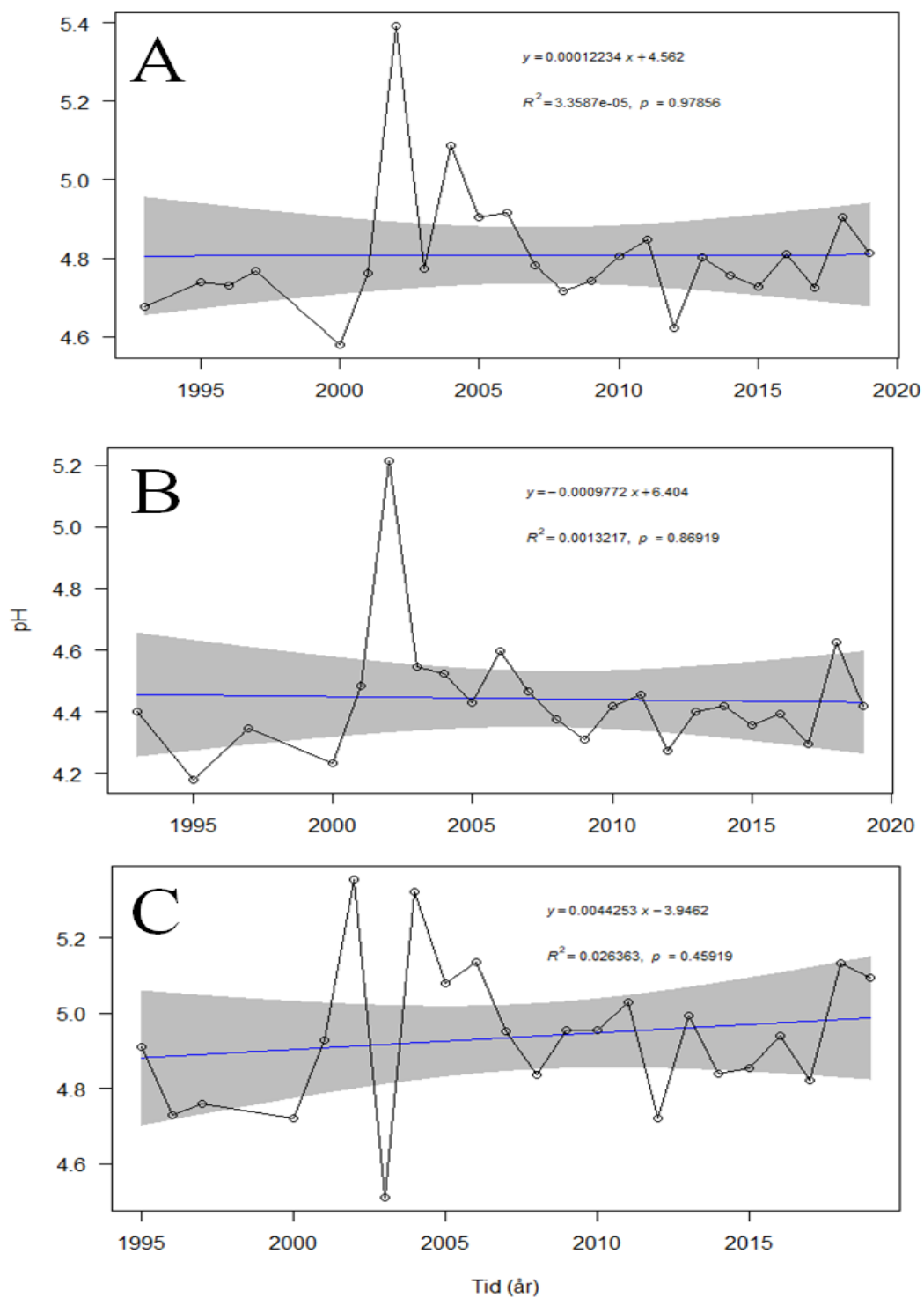
Figur 11. Regressionslinje byggd på årliga medelvärden för pH (A) i bäck 7 i Svarthöjens försökspark med dataunderlag från 1986–2010. Regressionslinjer till medelvärden av järn (B) och aluminium (C) i bäck 7 i Svarthöjens försökspark. Data från 1986–2010 för järn samt från 1995–2003 för aluminium.

Från *figur 11* går det att utläsa att regressionslinjen för pH i bäck 7 inte är statistiskt signifikant ( $p=0,060$ ,  $R^2=0,145$ ) och inte regressionslinjerna för järn ( $p=0,124$ ,  $R^2=0,099$ ) eller för aluminium ( $p=0,345$ ,  $R^2=0,128$ ).



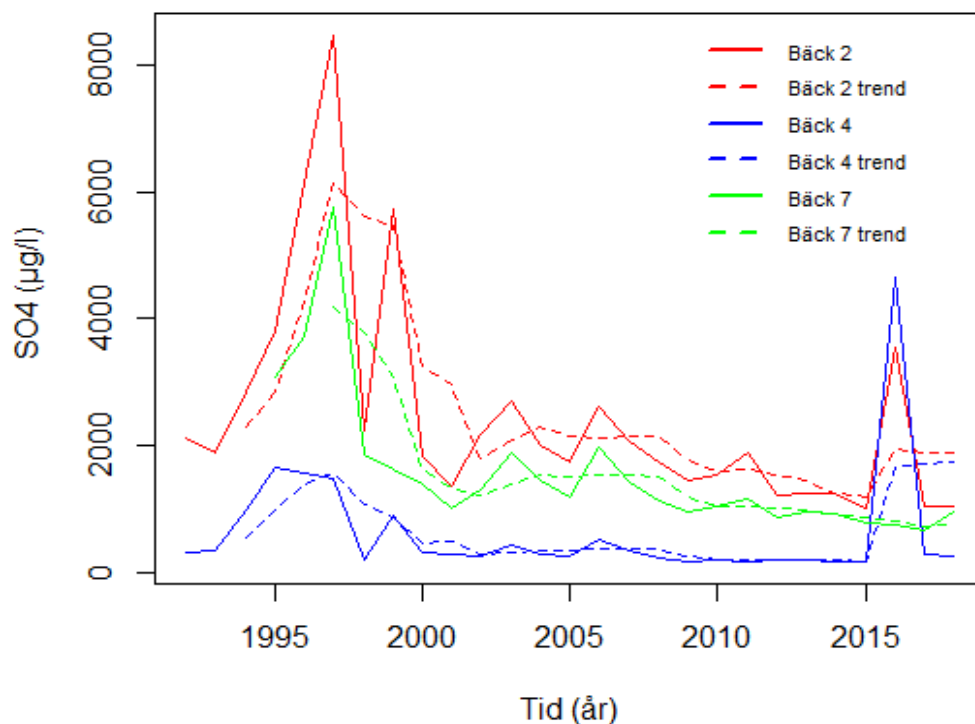
*Figur 12. Trendlinje över årliga medelvärden för pH i bäckarna 2,4 och 7 från 1999 till 2019. Kurvorna har gjorts mjukare för bättre visualisering.*

Regressionslinjerna i *figur 13*, nedan, visar att det inte skett en signifikant ökning i pH för varken bäck 2 ( $p=0,980$ ,  $R^2<0,001$ ), bäck 4 ( $p=0,870$ ,  $R^2=0,013$ ) eller för bäck 7 ( $p=0,46$ ,  $R^2=0,260$ ). Ingen signifikant trend verkar finnas i de årliga värdena för pH.



Figur 13. Regressionslinjer och anpassade linjer till årliga medelvärden av pH för bäck 2,4 och 7.





Figur 14. Trendlinje och faktiska värden, årliga medelvärden, för sulfat i bäckarna 2, 4 och 7. Använt data är från 1992–2018 för bäck 2 och 4 samt från 1995–2018 för bäck 7. Trendkurvorna har gjorts mjukare för bättre visualisering.

I figur 14 synliggörs att halten sulfat i bäck 2 går ner från cirka 8000 µg/l år 1997 till ca 1000 µg/l år 2018. För bäck 4 går halten ner från 1600 µg/l år 1995 till cirka 250 µg/l år 2018. Sulfatkoncentrationen för bäck 7 är nedåtgående från 5800 µg/l år 1997 till 1000 µg/l år 2018.

## 4. DISKUSSION

### 4.1 DOC

I resultatet redovisar *figur 4* en regressionslinje för DOC över tid. Då p-värdena för bäck 2 och 7 är lägre än 0.05 finns det signifikanta bevis för att förändringen av DOC över tid hos bäck 2 och 7 inte beror på slumpen. Regressionslinjen för DOC i bäck 4 hade däremot p-värden över 0.05 vilket innebär att det inte går att utesluta att variationerna i halten DOC beror på slumpen. Förklaringsgraderna för regressionslinjerna visar att punkterna inte passar regressionslinjerna speciellt. Eftersom p-värdena är låga för bäck 2 och bäck 7 finns dock trender i datat även om de överlagras av en betydande variation mellan olika år.

Angående DOC-trenden visar *figur 2* och *figur 3* att bäck 4 verkar ha stora variationer inom enskilda år samt mellan åren. Halten DOC är i snitt högre än för de andra bäckarna och varierar mellan 20 och 40 mg/l, vilket beror på att vattnet kommer från en myr. Detta innebär att det är svårare att bedöma om det sker en avvikande trend eller om det är slumpmässiga skillnader. Bäck 2 och 7 visar en stadig ökning av DOC över åren. Det finns en säsongseffekt för samtliga tre bäckar där halten går upp kraftigt under vårfloden och minskar under vintern. Vad den ökande andelen DOC i skogsbäckar beror på är svårt att veta då resultatet i denna studie visar på att förändringar i mängden DOC kan bero på många olika faktorer. I denna studie orsakade pH inte de stigande DOC trenderna i skogsbäckarna 2 och 7. Det verkar inte heller som att skogsbruk och markanvändning är de enda orsakerna till de stigande DOC trenderna. En anledning till ökningen av DOC skulle enligt resultatet från denna studie kunna vara den minskande mängden sulfat i marken. Detta sker på grund av att DOC blir negativt laddat och lakas ut då sulfathalten minskar. Enligt *figur 14* minskar sulfathalten i bäck 2 och 7 kraftigt sedan mellan 1995–2018 medan bäck 4 håller sig relativt oförändrad över tid. En förklaring till den minskade sulfathalten i bäckarna är att svaveldepositionen från nederbörden har minskat. Att bäck 4 har en mer eller mindre låg sulfathalt över tidsperioden bör bero på reduktion och utfällning av svavel i myren. En annan möjlig förklaring till de ökande DOC-koncentrationerna i skogsbäckarna hänger ihop med ett varmare klimat, kortare vintrar och förändrade hydrologiska förhållanden.

## 4.2 Järn och aluminium

Enligt *figur 6* verkar halten järn och aluminium vara nedåtgående för bäck 2 och 7 under 2017–2019. För bäck 4 är den uppåtgående under samma tidsperiod. Däremot visar *figur 8* att trenden för järnhalten i bäck 7 varit uppåtgående sedan år 2000. I *figur 11* ser vi att regressionslinjerna över halten järn och aluminium för bäck 7 i Svartbergets försökspark har p-värden större än 0.05. Det innebär att det inte går att utesluta att det är slumpen som ligger bakom den observerade variationen.

I bäck 2 och bäck 7 tycks det finnas en koppling i mönstret över hur halterna järn och aluminium förändras över tid. Detta kan innebära att järn och aluminium mobiliseras och lakas ut i vattendrag då de fäster vid DOC. Eftersom total mängd järn är uppmätt och att trenderna för aluminium och järn tycks följa varandra relativt bra är det förmodligen  $\text{Fe}^{3+}$  som dominerar i bäck 2 och bäck 7. Hade det inte funnits en koppling mellan järn och aluminium hade det gått dra slutsatsen att det istället är redoxförhållanden som styr förekomsten av järn i bäckarna. I och med att laddningen hos järn och aluminium verkar vara av betydelse för huruvida de binder till DOC går det dra slutsatsen att många andra katjoner fäster vid DOC och mobiliseras.

En felkälla för insamlandet av data för järn och aluminium i bäck 2 och bäck 4 är att det är insamlat under en relativt kort tidsperiod (2017–2019). Dataunderlaget för DOC är däremot insamlat under en period på 30 år. De korta tidsserierna för järn och aluminium gör att det är svårt att dra några egentliga slutsatser utifrån datamaterialet.

## 4.3 pH

Det verkar inte finnas signifikanta bevis för att utesluta att variationerna för pH hos bäck 2, 4 och 7 beror på slumpen. Ingen trend går att utläsa från det tillgängliga datamaterialet även om det ser ut som att pH verkat öka mycket under 2004 för att sedan minska och lägga sig på samma stabila nivå som innan ökningen.

## 4.4 Markanvändning

Resultatet från studiens analyser tyder på att halten DOC ökat signifikant även för de bäckar där den intilliggande marken inte brukats under lång tid. Bäck 2 är ett exempel på detta då den omgivande barrskogen har stått orörd i flera decennier. En slutsats som kan dras av detta är att det är inte enbart markanvändningen som påverkar ökningen av DOC och brunifiering. Ändå visar många studier på att markanvändningen har stor påverkan på DOC och brunifiering där framförallt barrträden tycks ge en inverkan på förnakvaliteten. *Figur 1* visar hur virkesförrådet, fördelat på trädslag, har förändrats över tid. Virkesförrådet mellan 1955–2015 har för gran ökat från cirka 900 m<sup>3</sup>sk till 1300 m<sup>3</sup>sk och respektive 800 m<sup>3</sup>sk till 1200 m<sup>3</sup>sk för tall. Under samma tidsperiod har virkesförrådet för lövträd ökat från 300 m<sup>3</sup>sk till 600 m<sup>3</sup>sk. Denna förändring av trädslagsfördelning har skett under förhållandevis kort tidsperiod och kan komma att få stor betydelse för brunifieringen av ytvatten i Sverige.

## 4.5 Slutsats

Slutsatser som kan dras utifrån detta arbete är att det har skett en signifikant ökning av DOC i de skogsdominerade bäckarna 2 och 7, men inte i den myrdominerade bäck 4. Den här typen av ökning förväntas kunna ge en ungefärlig bild över hur det ser ut i boreala skogssystem och stämmer överens med resultatet från tidigare gjorda studier (De wit et al. 2016; Fork et al. 2020). Det är svårt att dra några tydliga slutsatser för järntrenden då det enbart fanns en tillräckligt lång tidsserie för bäck 7. I bäck 7 verkar det ändå som att trenden för järn har varit uppåtående sedan år 2000. Här behövs dock fler studier för att undersöka hur järnhalten påverkar brunifiering av boreala ytvatten.

Den nedåtgående sulfattrenden kan förklara en del av ökningen av DOC men det är möjligt att andra faktorer, som inte har undersökts i denna studie, påverkar DOC. Här kommer det också att behövas fler framtida studier som undersöker fler faktorer som kan tänkas påverka DOC.

Resultatet från denna studie belyser även att kantzoner spelar en viktig roll i hur mycket DOC som lakas ut i ytvatten. Åtgärder som kan utföras för att begränsa utbredningen av brunifiering är: Lämna lövträd vid kantzoner, öka andelen lövskog och blandskogar med löv. I framtiden kommer det även behövas mer studier om hur dricksvatten påverkas av DOC och förnakvalitet. Problematiken kring brunifieringens påverkan på dricksvatten lär bli allt större i framtiden och uppmärksammas allt mera. Förhoppningsvis kan denna studie ligga till grund och underlätta i arbetet för framtida studier.

## 5. REFERENSER

- Akselsson, C., Hultberg, H., Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G. & Hellsten, S. (2013). Acidification trends in south Swedish forest soils 1986–2008 — Slow recovery and high sensitivity to sea-salt episodes. *Science of the Total Environment*, vol. 444, ss. 271–287.
- Björnerås, C., Weyhenmeyer, G.A., Evans, C.D., Gessner, M.O., Grossart, H. -P., Kangur, K., Kokorite, I., Kortelainen, P., et al. (2017). Widespread Increases in Iron Concentration in European and North American Freshwaters. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 31 (10), ss. 1488–1500.
- Bussetti, F., Gravano, E., Grossoni, P. & Tani, C. (1998). Occurrence of tannins in leaves of beech trees (*Fagus sylvatica*) along an ecological gradient, detected by histochemical and ultrastructural analyses. *The New Phytologist*, vol. 138 (3), ss. 469–479.
- Camino-Serrano, M., Gielen, B., Luyssaert, S., Ciais, P., Vicca, S., Guenet, B., Vos, B.D., Cools, N., et al. (2014). Linking variability in soil solution dissolved organic carbon to climate, soil type, and vegetation type. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 28 (5), ss. 497–509.
- De Wit, H. A., Valinia, S., Weyhenmeyer, G. A., Futter, M. N., Kortelainen, P., Austnes, K., Hessen, D. O., Räsänen, A., Laudon, H. & Vuorenmaa, J. (2016). Current Browning of Surface Waters Will Be Further Promoted by Wetter Climate. *Environmental Science and Technology Letters*, vol. 3 (12), ss. 430–435.
- Dick, J.J., D. Tetzlaff, C. Birkel, and C. Soulsby. (2015). Modelling landscape controls on dissolved organic carbon sources and fluxes to streams. *Biogeochemistry*, vol. 122, ss. 361–374.
- Duan, S.W., K. Delaney-Newcomb, S.S. Kaushal, S.E.G. Findlay & K.T. Belt. (2014). Potential effects of leaf litter on water quality in urban watersheds. *Biogeochemistry*, vol. 121, ss. 61–80.

Ekström S. M. & Kritzberg E. S. (2012). Increasing iron concentrations in surface waters - a factor behind brownification? *Biogeosciences*, vol. 9 (4), ss. 1465–1478.

Ekström, S.M., Kritzberg, E.S., Kleja, D.B., Larsson, N., Nilsson, P.A., Graneli, W. & Bergkvist, B. (2011). Effect of acid deposition on quantity and quality of dissolved organic matter in soil-water. *Environmental science & technology*, vol. 45 (11), ss. 4733–4739.

Fork, M. L., Sponseller, R. A. & Laudon, H. (2020). Changing Source-Transport Dynamics Drive Differential Browning Trends in a Boreal Stream Network. *Water Resources Research*, vol. 56 (2), ss. 1-12.

Gui, H., Li, F., Wei, Y. & Yamada, T. (2018). Adsorption characteristics of natural organic matter on activated carbons with different pore size distribution. *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 15 (8), ss. 1619–1628.

Haei, M., Öquist, M.G., Buffam, I., Ågren, A., Blomkvist, P., Bishop, K., Ottosson Löfvenius, M. & Laudon, H. (2010). Cold winter soils enhance dissolved organic carbon concentrations in soil and stream water. *Geophysical Research Letters*, vol. 37 (8), ss. 1-5.

Hedges, J.I. (1992). Global biogeochemical cycles: progress and problems. *Marine Chemistry*, vol. 39 (1-3), ss. 67–93.

Hellberg, E., Josefsson, T. & Östlund, L. (2009). The transformation of a Norway spruce dominated landscape since pre-industrial times in northern Sweden : the influence of modern forest management on forest structure. *Silva Fennica*, vol. 43, ss. 783-797.

Isidorova, A., Bravo, A.G., Riise, G., Bouchet, S., Björn, E. & Sobek, S. (2016). The effect of lake browning and respiration mode on the burial and fate of carbon and mercury in the sediment of two boreal lakes. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, vol. 121 (1), ss. 233–245.

Kritzberg, E. S., Hasselquist, E. M., Škerlep, M., Löfgren, S., Olsson, O., Stadmark, J., Valinia, S., Hansson, L. A. & Laudon, H. (2020). Browning of freshwaters: Consequences to ecosystem services, underlying drivers, and potential mitigation measures. *Ambio*, vol. 49 (2), ss. 375–390.

Keller, W. (2007). Implications of climate warming for Boreal Shield lakes: a review and synthesis. *Environmental Reviews*, vol. 15 (1), ss. 99–112.

Köhler, S.J., Lavonen, E., Keucken, A., Schmitt-Kopplin, P., Spanjer, T. & Persson, K. (2016). Upgrading coagulation with hollow-fibre nanofiltration for improved organic matter removal during surface water treatment. *Water Research*, vol. 89, ss. 232–240.

Laudon, H., Taberman, I., Ågren, A., Futter, M., Ottosson-Löfvenius, M. & Bishop, K. (2013). The Krycklan Catchment Study—A flagship infrastructure for hydrology, biogeochemistry, and climate research in the boreal landscape. *Water Resources Research*, vol. 49 (10), ss. 7154–7158.

Lavonen, E.E., Gonsior, M., Tranvik, L.J., Schmitt-Kopplin, P. & Köhler, S.J. (2013). Selective chlorination of natural organic matter: identification of previously unknown disinfection byproducts. *Environmental science & technology*, vol. 47 (5), ss. 2264–2271.

Lidman, F., Boily, Å., Laudon, H. & Köhler, S.J. (2017). From soil water to surface water – how the riparian zone controls element transport from a boreal forest to a stream. *Biogeosciences*, vol. 14 (12), ss. 3001–3014.

Lydersen, E., Löfgren, S. & Arnesen, R.T. (2002). Metals in Scandinavian Surface Waters: Effects of Acidification, Liming, and Potential Reacidification. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 32 (2-3), ss. 73–295.

Maas, R. & P, Grennfelt. (2016). *Towards Cleaner Air. Scientific Assessment Report 2016*. Oslo: EMEP Steering Body and Working Group on Effects of the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. Tillgänglig: [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/ExecutiveBody/35th\\_session/CLRTAP\\_Scientific\\_Assessment\\_Report\\_-\\_Final\\_20-5-2016.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/ExecutiveBody/35th_session/CLRTAP_Scientific_Assessment_Report_-_Final_20-5-2016.pdf) [2020-03-12]

Maloney, K., Morris, D., Moses, C. & Osburn, C. (2005). The Role of Iron and Dissolved Organic Carbon in the Absorption of Ultraviolet Radiation in Humic Lake Water. *Biogeochemistry*, vol. 75 (3), ss. 393–407.

Škerlep, M., Steiner, E., Axelsson, A.-L. & Kritzberg, E.S. (2019). Afforestation driving long-term surface water browning. *Global change biology*, vol. 26, ss. 1390–1399.

Pilla, R.M., Williamson, C.E., Zhang, J., Smyth, R.L., Lenters, J.D., Brentrup, J.A., Knoll, L.B. & Fisher, T.J. (2018). Browning-Related Decreases in Water Transparency Lead to Long-Term Increases in Surface Water Temperature and Thermal Stratification in Two Small Lakes. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, vol. 123 (5), ss. 1651–1665.

Riksskogstaxeringen. (2019). *Statistik om skog*. Tillgänglig: <http://www.slu.se/skogsstatistik> [2020-03-30].

Roth, V.-N., Dittmar, T., Gaupp, R. & Gleixner, G. (2015). The molecular composition of dissolved organic matter in forest soils as a function of pH and temperature. *PloS one*, vol. 10 (3), ss. 1-23.

SITES. (2019). *Svartbergets försökspark*. tillgänglig: <https://www.fieldsites.se/sv-SE/forskningsstationer/svartberget-32286095> [2020-02-11]

Van Dorst, R. M., Gårdmark, A., Svanbäck, R., Beier, U., Weyhenmeyer, G. A. & Huss, M. (2019). Warmer and browner waters decrease fish biomass production. *Global Change Biology*, 25 (4), ss. 1395–1408.



## Tack

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Fredrik Lidman för allt stöd och hjälp med arbetet. Vi vill även rikta ett tack till personalen vid Krycklan för hjälpen med datamaterialet. Tack också till Hilda Edlund som hjälpt oss med de statistiska analyserna och arbetet med visualisering av vår data.